

## 1. RESUMEN

*Forcipomyia* es un género de polinizadores del cacao, los dípteros mayormente reportados para la polinización de éste en el resto de Centroamérica y regiones tropicales. Esto se debe principalmente a las características morfológicas de la flor, que hace menos eficiente la transferencia del polen de la antera al estigma por otros agentes naturales, como otros dípteros, abejas o incluso el viento. Se estudió la distribución y abundancia del género *Forcipomyia* en el municipio de Santa María de Cahabón con el objetivo de conocer qué variables ambientales afectan dicho género. Se colectaron muestras de hojarasca en 35 parcelas de cacao y 4 parcelas de bosques secundarios, posteriormente se incubaron bajo condiciones controladas durante 30 días en cajas de emergencia, para provocar el surgimiento de insectos del género *Forcipomyia*. Se obtuvo un total de 129 especímenes de *Forcipomyia* distribuidos en dos morfoespecies.

Se encontró evidencia de una relación inversa entre la abundancia de los insectos con algunas de las variables ambientales: cobertura de dosel y pendiente. Se pudo observar que a menor cobertura de dosel, mayor abundancia, esto coincide con lo reportado por otros estudios, a mayor manejo y diversidad de dosel hay un aumento en la abundancia de los ceratopogónidos. De acuerdo a dichos estudios, la diversidad de dosel crea diversidad de hábitats para que estos insectos lleven a cabo su ciclo de vida. En cuanto a la variable pendiente, también se encontró una relación inversa con la abundancia de *Forcipomyia*; a mayor pendiente, menor abundancia. Las pendientes de alto porcentaje o demasiado inclinadas no permiten que la hojarasca y el material en descomposición que son utilizados como hábitat de estos insectos, permanezca dentro de las plantaciones debido a la gravedad, ya que los vientos y la escorrentía superficial la empujan hacia abajo en la pendiente. En cuanto a la variable de altitud, y las variables de micropaisaje y macropaisaje, no se encontró evidencia que se relacionara con la distribución y abundancia de *Forcipomyia*.

## 2. INTRODUCCIÓN

La polinización es un proceso biológico de vital importancia para la producción de alimentos, los medios de vida de los seres humanos y relaciona directamente los ecosistemas silvestres con los sistemas de producción agrícola. La gran mayoría de las especies de plantas fanerógamas sólo producen semillas si los agentes polinizadores han transportado previamente el polen de las anteras a los estigmas de sus flores. Si este proceso no se realizara, muchas especies y procesos del ecosistema conectados entre sí, dejarían de existir. Por lo tanto, los procesos de polinización merecen gran atención en el manejo agrícola y de conservación (FAO, 2010).

La polinización zoófila ha sido reconocida como un proceso fundamental para la obtención de producciones rentables en varios cultivos de importancia agrícola. Se estima que alrededor del 30% de los productos de consumo, aceites comestibles medicinas y fibra que utiliza el ser humano dependen de animales polinizadores (CSPNA, 2007).

Dentro de los cultivos de importancia agrícola anteriormente mencionados se encuentra el caso del cacao, *Theobroma cacao* L., su polinización es fundamentalmente cruzada lo que significa que es necesario que un agente lleve el polen de un árbol donador a uno receptor, estos agentes son los insectos. Estudios en varias regiones productoras de cacao alrededor del mundo han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia Ceratopogonidae (géneros *Forcipomyia*, *Dasyhelea* y *Atrichopogon*) de mayor importancia en regiones como Malasia, Ghana y Costa Rica (Kauffmann, 1975; Azhar & Wahi, 1984; Young, 1986). Dentro del género *Forcipomyia*, algunas especies se encuentran altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto (tamaño, disposición de setas en diferentes partes del cuerpo) (Soria S. , 1973; Kauffmann, 1975). Al mismo tiempo, se observa la especialización en la complejidad de la estructura de la flor del cacao, la cual parece exclusivamente adaptada para que estos insectos sean los que la polinicen (Goitia, Bosque, & Jaffe, 1992).

El cacao es un cultivo que se desarrolla en zonas tropicales como Ghana en África, Malasia en Asia, y en América en países como Brasil, Venezuela y Centroamérica, donde ha

sido cultivado en su mayor parte por comunidades nativas, para las cuales posee valor no solo económico sino cultural (Dubois, 2007). En Santa María de Cahabón, Alta Verapaz, en Guatemala, la cultura Queqchí se encuentra íntimamente ligada al árbol de cacao, que crece y forma parte natural de las selvas lluviosas, y es parte de una importante tradición de uso del kakaw o bebida de cacao. Dicha área de estudio presenta condiciones climáticas y edáficas propicias para su cultivo orgánico, ya que al cultivarse en asociación con otros árboles útiles y de valor ecológico, cultural, alimenticio o económico, puede a través de las prácticas agroforestales, utilizarse para la recuperación de conexiones entre parches de selvas cálidas lluviosas (Barrios, 2009). El cultivo del cacao utilizado por tradición en dicho lugar, ha ocurrido con sistemas agroforestales, en los cuales se integra una gran variedad de árboles más grandes, que le proveen de sombra y lo protegen para su desarrollo normal y producción. Sin embargo, la producción y rendimiento del cacao están relacionados directamente con las poblaciones de polinizadores (CONABIO, 2009).

El presente estudio pretende hacer una estimación de la abundancia y distribución del género *Forcipomyia*, en Santa María de Cahabón, un díptero polinizador, reportado como el más efectivo para el cacao en sistemas agroforestales tradicionales. Este estudio se incluirá en el marco del proyecto Competitividad y ambiente del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC), formando parte del componente 1 “Producción y Ambiente”. El área de estudio está comprendida por una red de 39 parcelas, de las cuales 35 parcelas serán de plantaciones de cacao y 4 de sistemas naturales o bosques secundarios localizados en las comunidades aledañas a Santa María de Cahabón, Alta Verapaz.

### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1. EL CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

Es un árbol de pequeña talla, perennifolio, de 4 a 7 m de altura cuando es cultivado aunque si se encuentra de forma silvestre puede alcanzar hasta 20 m. Posee una copa baja y densa, sus hojas son grandes, alternas, colgantes, gruesas, elípticas u oblongas, de 15 (20) a 35 (50) cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, con pulvínulo, ápice acuminado, margen liso, color verde oscuro en el haz y verde más pálido en el envés.

El tronco tiene un hábito de crecimiento dimórfico, con brotes ortotrópicos. Ramas plagiotrópicas, las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas. Es una especie cauliflora, es decir las flores aparecen insertadas directamente sobre el tronco o en las viejas ramificaciones. La corteza es de color café oscuro, agrietada, áspera y delgada. Flores en racimos a lo largo del tronco, sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm de largo. Flor de 0.5 a 1 cm de largo, en forma de estrella. Los pétalos son cinco, de color rosa, púrpura o blanco, de 6 mm de largo, alternos con los sépalos, estrechos en la base y anchos en el medio terminando en una lígula.

El fruto es una baya grande carnosas, oblonga a ovada, amarilla, roja o purpúrea de 15 a 30 cm de largo, 7 a 10 cm de grueso, puntiaguda y con surcos longitudinales, 30 a 40 semillas dispuestas en placentación axial e incrustada en una pulpa desarrollada de color blanco (Standley & Steyermark, 1949). En los trópicos, esta planta florece casi todo el año, principalmente en época seca y los frutos maduran principalmente finalizando la época lluviosa o iniciando la época seca (CONABIO, 2011).

### 3.2. INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO

Muchos estudios han demostrado que el árbol del cacao es un cultivo que es obligatoriamente polinizado por insectos (Azhar & Wahi, 1984; Young, 1986; Soria S. , 1977; Goitia, Bosque, & Jaffe, 1992). Estos estudios realizados en la polinización del cacao se han concentrado en la identidad de los polinizadores. Aproximadamente 75 especies de ceratopogónidos, distribuidos en 10 géneros, se han visto visitando las flores de cacao, sin embargo, solo cerca del 50% se han observado polinizando (Winder, 1976).

La polinización efectiva por ceratopogónidos es altamente dependiente de la sincronización de las poblaciones dinámicas de los mosquitos con los ciclos de floración de los arboles, y la abundancia de mosquitos relativa a la abundancia de flores (Young, 1983). Las variables ligadas a los ritmos poblacionales de actividad de los insectos como su disponibilidad, tamaño, especie y sexo, y las asociadas a los ritmos de la floración como lo es la viabilidad y disponibilidad del polen, determinan el modelo de fluctuación de la polinización (Soria S., 1977). Otros factores, tales como los de tipo ambiental (clima, humedad, incidencia de luz), también influyen sobre la polinización, sobre todo la precipitación, que influye directamente sobre la polinización al estimular la reproducción de dichos insectos. (De La Cruz & Soria, 1973).

Es generalmente aceptado que los ceratopogónidos, especialmente los géneros *Atrichopogon sp.*, *Dasyhelea sp.* y *Forcipomyia sp.* son los principales polinizadores del cacao. Este último género, figura como el polinizador más efectivo (Soria S. , 1970), y es un hecho casi demostrado, que solo las hembras polinizan las flores (De La Cruz & Soria, 1973). Otro género, *Atrichopogon sp.*, también figura como uno de los polinizadores predominantes del cultivo del cacao pero a diferencia de *Forcipomyia*, exhibe una estrategia en la cual tanto los machos como las hembras visitan las flores por carbohidratos y las hembras perforan los granos de polen en busca de proteína (Downes, 1955 citado por Young, 1983).

### 3.3 EL GÉNERO *Forcipomyia*

*Forcipomyia* es un género de la familia Ceratopogonidae, distribuido ampliamente alrededor del mundo. Constituye un género relativamente grande, es uno de los más ricos en especies dentro de dicha familia, siendo muchas de estas muy importantes polinizadoras para cultivos tropicales y subtropicales (Young, 1986).

Borkent y Spinelli (2000), en su catálogo sobre Ceratopogonidae del Nuevo Mundo, enumeraron 33 especies del género *Forcipomyia* (*Forcipomyia*) para la región Neotropical, en donde indican que el grupo de *Forcipomyia argenteola* es el mayormente distribuido en Centro América y el Norte de Sudamérica (Marion & Spinelli, 2008).

La importancia de estos insectos radica en el tamaño de su cuerpo, otros ceratopogónidos polinizadores pueden medir menos de 2 mm, por lo que no son efectivos polinizadores, debido a que su cuerpo pequeño no puede tocar el estilo cuando se ubican en el estaminodio. El cuerpo de *Forcipomyia* mide no más de 2 mm, su tórax mide 0.16 mm de ancho y 1.0 mm de largo, por lo que este puede acomodarse con muchos granos de polen, cada uno de los cuales mide 16 micras de diámetro, esta capacidad de acumulación de polen aumenta su efectividad como polinizador (Kauffmann, 1975). Por esto, los insectos del género *Forcipomyia* son calificados como los principales agentes polinizadores del cacao, dentro de éste, se ha encontrado que las especies de *F. eurorojoannisia*, *F. squamipennis*, *F. ashantii*, y *F. castanea*, son las más efectivas, pues exhiben hábitos eficientes y estructuras adaptadas para tal fin, al contrario de otros insectos ceratopogónidos (Brew, 1984).

Además, estudios realizados en Costa Rica, indicaron que varias especies de *Forcipomyia* demuestran ser eficientes de acuerdo al número y frecuencia de actividad polinizadora (Soria, Chapman, & Knoke, 1980). Su ciclo de vida puede variar de acuerdo a lo reportado, que puede oscilar en condiciones de laboratorio entre 28 a 40 días para completar el ciclo: estadio de huevo de 3 a 4 días, estadio de larva de 10 a 17 días, de pupa de 3 a 4 días y adulto de 12 a 16 días (Soria & Wirth, 1975).

### **3.4. ESTUDIOS PREVIOS DE POLINIZADORES DE CACAO EN GUATEMALA**

Guevara, en 2007, realizó la investigación: “Estudio de los insectos polinizadores del cacao (*Theobroma cacao* L.) en los cultivos localizados en la ruta del cacao de la zona del suroccidente de Guatemala”. Guevara identificó algunas especies de insectos asociados a la flor del cacao y que podrían contribuir en la polinización de este tipo de cultivo. Se identificaron 10 géneros de hormigas asociadas tanto a la flor como al área foliar y la vegetación cercana, una especie de pulgón (*Toxoptera aurantii*) y tres especies de tripsidos (Thysanóptera): *Frankliniella occidentalis* (en mayor cantidad), *Franklinothrips vespiformis* y una especie del suborden Tubulifera (no determinada) (Guevara, 2007). Sin embargo, aunque Pound en 1933 encontró alguna evidencia circunstancial sobre polinización por parte de tripsidos y Cope en 1940, encontró una correlación positiva entre la polinización y presencia de hormigas y tripsidos en las flores, Bill en 1941 encontró evidencia directa que aunque tripsidos pueden contribuir en la polinización, las vibraciones en sus alas antes de volar provocan que el polen en sus cuerpos sea apartado de ellos por lo que no podría actuar como un agente polinizador efectivo (Glendinning, 1972), tal y como lo reporta Guevara.

El Proyecto Cacao de Centro América del Centro Agronómico Tropical en 2010, realizó estudio de dípteros polinizadores del Cacao en la Región Suroccidente de Guatemala, sin embargo, los datos aún no han sido publicados.

### **3.5. SANTA MARÍA DE CAHABÓN**

El municipio de Santa María de Cahabón del departamento de Alta Verapaz, se encuentra ubicado a 92 km de la ciudad de Cobán y a 302 km de la Ciudad Capital. Limita al norte con los municipios de Fray Bartolomé de las Casas y Chahal (Alta Verapaz); al sur con el municipio de San Antonio Senahú (Alta Verapaz), al este con los municipios de Panzós (Alta Verapaz) y el Estor (Izabal); y al oeste con los municipios de San Pedro Carchá y San Agustín Lanquín (Alta Verapaz).

El Municipio se sitúa alrededor de los 220 msnm, latitud Norte del Ecuador 15 grados, 36 minutos y 20 segundos, longitud Oeste del meridiano de Greenwich 89 grados, 48 minutos y

45 segundos. La extensión del Municipio es de 900 Km<sup>2</sup>, el área urbana ocupa 2.5 Km<sup>2</sup> y la densidad es de 48 personas por Kilómetro cuadrado. Los centros poblados se localizan a distancias que no superan los 50 km de la Cabecera Municipal, a pesar de que las distancias son relativamente cortas, se destaca que la mayoría de las vías de acceso son de terracería y de poca accesibilidad durante la época lluviosa. Estas condiciones constituyen limitaciones para el desarrollo económico y social.

La estación meteorológica más cercana está ubicada en la Cabecera Municipal la cual se identifica como la estación número 1.02.02, y reporta precipitación pluvial anual de 2,386.3 mm, y humedad relativa anual promedio de 82%. El clima es cálido y las lluvias durante los meses de junio a febrero son abundantes, no así, en los meses de marzo y abril que es la época de la sequía cuando azotan los veranos calcinantes por encontrarse en una zona cálida pluvial. La temperatura máxima oscila entre los 42 °C, la temperatura mínima 16 °C y una temperatura promedio 29 °C (SEGEPLAN, 2003). El tipo de vegetación presente en Santa María de Cahabón corresponde a la Selva Alta Siempre Verde, este tipo de vegetación alcanza su mejor esplendor cuando se desarrolla en terrenos de suelos profundos y bien drenados, pero cuando el suelo es poco profundo o se inunda con facilidad, esta selva tiene árboles más bajos (Miranda, 1952).



#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Los insectos desempeñan un papel importante en la polinización del cacao, sin embargo, hasta ahora en Guatemala, muy poco es conocido sobre la ecología de la polinización de este cultivo. Aunque algunos autores reportan la importancia de los insectos polinizadores en cacao (Hernández, 1965; Winder y Silva, 1972; Kaufmann, 1975; Young, 1982, 1986) estas referencias datan de al menos tres décadas atrás.

Tomando en cuenta que, el cacao es un ejemplo de árbol que asociado a otros árboles de uso múltiple y de valor ecológico, cultural, alimenticio, económico, puede a través de prácticas agroforestales en la región de Alta Verapaz, ser usado para la recuperación de los ecosistemas presentes en dicha región (Barrios, 2006). El estudio de la relación entre el cacao y sus insectos polinizadores permitirá avanzar en el conocimiento del funcionamiento del bosque natural como tal y disponer de bases para el manejo apropiado de estos agroecosistemas, para lo cual es importante y necesario hacer investigaciones sobre la taxonomía y ecología de las especies que polinizan (Narváez & Marín, 1996).

Al generar información sobre la distribución y abundancia de los insectos polinizadores del cacao y su relación con las diferentes variables ambientales que a distinta escala pueden influir en su ecología, se puede llegar a contribuir en el manejo de las prácticas culturales de cacao sobre la conservación de estos insectos (Bravo, Somarriba, & Arteaga, 2010). Dentro del contexto de trabajo del Proyecto Cacao de Centroamérica (PCC) se generarán e implementarán los referentes necesarios que contribuirán a la elaboración de estrategias educativas para los agricultores de la Región de Santa María de Cahabón, Alta Verapaz con el fin de mostrar la importancia de la conservación de estos animales en cuanto a la polinización de los los cultivos de cacao, con lo que se espera contribuir a la conservación de los ecosistemas de la zona y su biodiversidad.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Conocer y evaluar la distribución y abundancia de las morfoespecies pertenecientes al género *Forcipomyia* sp., (Diptera: Ceratopogonidae) en sistemas agroforestales de cacao en Santa María de Cahabón, Alta Verapaz.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

5.2.1 Determinar la influencia de las variables de microhábitat en la distribución y abundancia de *Forcipomyia* sp. en los sistemas agroforestales de cacao en Santa María de Cahabón.

5.2.2 Determinar la influencia de las variables de micropaisaje en la distribución y abundancia de *Forcipomyia* sp. en los sistemas agroforestales de cacao en Santa María de Cahabón.

5.2.3 Determinar la influencia de las variables de macropaisaje sobre la distribución y abundancia de *Forcipomyia* sp., en los sistemas agroforestales de cacao en Santa María de Cahabón.

## **6. HIPÓTESIS**

La distribución y la abundancia de *Forcipomyia* sp. (Diptera: Ceratopogonidae) dentro de los agrosistemas de cacao de Santa María de Cahabón, se encuentran asociados tanto a las variables ambientales como a las de macro y micropaisaje y de su microhabitat.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Universo

En la población se incluyen los mosquitos del género *Forcipomyia* presentes en los sistemas agroforestales de Santa María de Cahabón bajo diferentes valores de las variables del paisaje. La muestra incluye los ceratopogónidos del género *Forcipomyia* y las variables de paisaje presentes en parcelas (unidades muestrales) de 1000 m<sup>2</sup> de forma rectangular. El número total de parcelas es de 39.

Las variables ambientales fueron elegidas de acuerdo a los siguientes aspectos:

**Rango altitudinal:** oscila entre 216 y 569 msnm, altamente variable en dentro del municipio Santa María de Cahabón por la presencia de sistemas montañosos; los puntos de menor altitud se registraron en las comunidades cercanas a la rivera del Rio Cahabón (comunidades de Chivité de Santa Rosa y Chipoc) y otros ríos como el Chisay (Comunidad de Belén), Chiacté (comunidad de Chiacté) y Oxec (comunidad de Champerico). Los puntos con mayor altitud ascienden montaña arriba desde la rivera de los ríos hasta los 569 msnm.

**Condiciones de microhabitat:** El género *Forcipomyia*, de acuerdo a la literatura necesita de un microhabitat con mucha humedad genere la descomposición de materia orgánica, así como de cobertura de dosel que provea de sombra para conservar la misma.

**Condiciones de macropaisaje:** el municipios de Cahabón presentan un paisaje generalizado abierto con características de ocupación y tenencia de tierra de minifundio y poca cobertura boscosa (Figura 1); predominan como cobertura del suelo los monocultivos de maíz y en asociación con frijol, chile, tomate de meza, café y yuca. La red experimental se estableció en: a) *zonas abiertas* donde predominan áreas agrícolas sin cobertura de bosques secundarios, b) *zonas cercanas a bosques secundarios poco intervenidos* y c) *bosques secundarios*.

**Condiciones de micropaisaje:** entendido como la proporción en términos de porcentaje de uso del suelo con cacaotales que rodean al cacaotal seleccionado y teniendo en cuenta que el cultivo de cacao ocupa un nivel secundario en el Municipio de Cahabón, es decir que no se constituye como cobertura predominante del territorio. Estas condiciones se clasificaron como a) fragmentado, si el agrosistema de cacao se encuentra rodeado por distintos cultivos, b) poco

fragmentado, si el agrosistema se encuentra rodeado mayormente por cacao y c) bosque secundario. De acuerdo a las características del lugar y a la poca extensión de propiedad de terrenos no se pudo encontrar un agrosistema que no fuera fragmentado.

## 7.2 Materiales

Equipo de campo:

Cinta métrica

Brújula magnética KonuStar 4075

Garmin GPS Map 60csx de Garmin International Inc.

Densiómetro

Lazo de 70 m.

Clinómetro de péndulo

Cinta métrica de fibra de vidrio de 100 m

Cuadrado de metal de 25 X 25 cm.

Bolsas de papel

Bolsas de plástico

Libreta de campo

Boletas de registro en campo

Equipo de laboratorio:

Cajas plásticas de 40 X 30 cm

6 metros de tela Schifón

80 tubos de plástico de 10 cm de largo por 4 cm de ancho

Agua azucarada

Agua destilada

Atomizador

Cinta metálica de 6 cm de ancho

Vidrios de reloj

Pinzas entomológicas

## **7.3 Métodos**

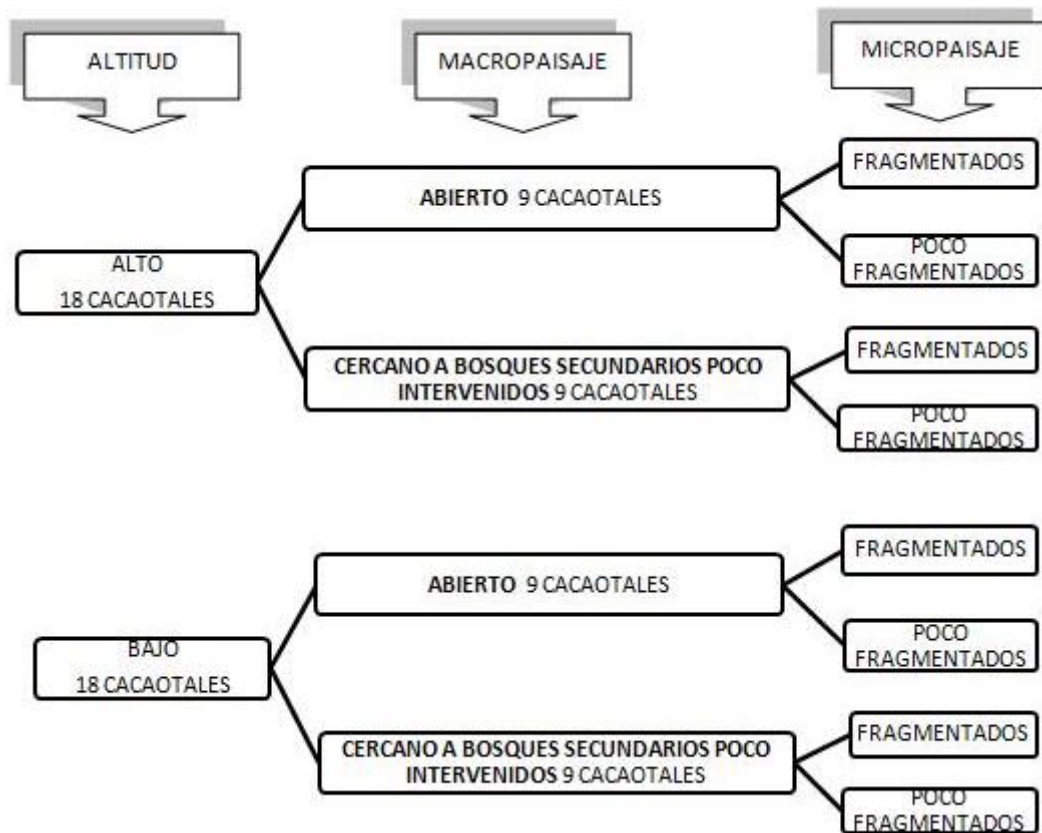
### 7.3.1 Selección del área de estudio

El Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) en Guatemala, abarca un área de estudio conformada por el área cacaotera ubicada en Santa María de Cahabón, en Alta Verapaz. El estudio se desarrolló en 4 sistemas naturales (Bosques) y en el sistema de 35 parcelas establecido previamente por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) para los estudios de enfermedades, productividad y biodiversidad del PCC en el municipio de Santa María de Cahabón, Alta Verapaz (Ver Figura 1).

Los criterios utilizados para la selección de las parcelas las ubican dentro de dos rangos altitudinales: *zona alta* entre los 360 y 547 msnm y *zona baja* entre los 209 y 330 msnm. Dentro de estos rangos fueron ubicadas 39 parcelas, 35 de sistemas agroforestales de cacao y 4 parcelas de bosques como control.

La ubicación de las parcelas se realizó teniendo en cuenta las características de la zona a diferentes escalas, se contempló que la estructura de muestreo debería permitir la distribución de los cacaotales seleccionados en todo el rango altitudinal, condiciones de macropaisaje, y que a nivel de micropaisaje al menos un cacaotal fuera poco fragmentado (ver figura 1).

La colecta de datos en el campo se realizó durante el mes de enero de 2010, utilizando la red de 39 parcelas previamente establecida durante el mes de diciembre de 2009, según el modelo de Avelino & Deheuvels (2008), descrito en la metodología. Aunque de acuerdo a dicha metodología, las fincas con cultivo de cacao deberían guardar cierta distancia, debido a la disposición de los propietarios no siempre se pudo cumplir esto, por lo que algunas parcelas se ubicaron muy cercanas a otras dentro de las comunidades muestreadas.



**Figura 1.** Estructura del paisaje para el establecimiento de la red de parcelas experimentales en el municipio de Santa María de Cahabón.

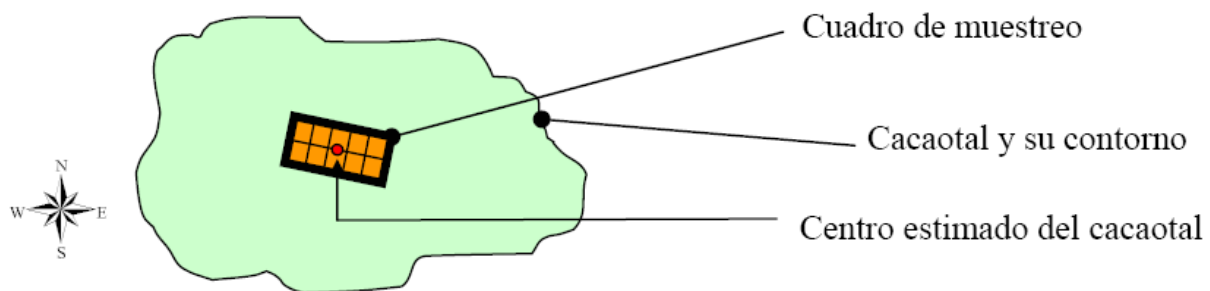
**Condiciones de macropaisaje:** El municipio de Santa María de Cahabón presenta un paisaje generalmente abierto con características de ocupación y tenencia de tierra de minifundio y poca cobertura boscosa; predomina como cobertura del suelo monocultivos de maíz y en asocio con frijol, chile, tomate de mesa, café y yuca. Otros usos del suelo predominantes en la zona son sistemas agroforestales de cardamomo y charrales enriquecidos con leguminosas. No existen áreas continuas con bosques o cerradas dentro de las comunidades seleccionadas para el estudio; sin embargo de acuerdo a observaciones en campo se lograron identificar **zonas con pequeños fragmentos de bosques secundarios poco intervenidos** (comunidades de Belén, Agrícola San Juan, Chiacté, Chivité de Santa Rosa y Chaslau Nueva Esperanza). La red experimental se estableció en **zonas abiertas** donde predominan áreas agrícolas sin cobertura de bosques secundarios y **zonas cercanas a bosques secundarios poco intervenidos**.



**Condiciones de micropaisaje:** entendido éste como la proporción en términos de porcentaje de uso del suelo con cacaotales que rodean al cacaotal seleccionado y teniendo en cuenta que el cultivo de cacao ocupa un nivel secundario en el Municipio de Cahabón, es decir que no se constituye como cobertura predominante del territorio, fue posible definir que la probabilidad de encontrar cacaotales no fragmentados (sistema de cultivo de cacao rodeado por 90 % a 100 % de cacao) y poco fragmentados (sistema de cultivo de cacao rodeado por 11 a 89 % de cacao) es mínima (Mavisoy, 2011).

### Toma de muestras de hojarasca

El proceso de muestreo dentro de cada cacaotal utilizado fue el siguiente: En cada cacaotal se midió un cuadro de muestreo cerca del centro del cacaotal para evitar efectos de borde. El centro fue ubicado al ojo y georeferenciado. Por este centro, se trazó una recta de 50 m (línea de división central del cuadro de muestreo) tal y como se muestra en la Figura 2. El cuadro de muestreo con un tamaño de 50 x 20 m (1000 m<sup>2</sup>). Se dividió en 10 subparcelas o celdas de 10 m x 10 m. (Avelino & Deheuvels, 2008).



**Figura 2.** Diseño del proceso de muestreo en cada cacaotal, con creación de un cuadro de muestreo dividido en 10 celdas. (Avelino y Deheuvels, 2008).

### 7.3.2 Descripción de puntos de muestreo y recolección de sustratos

Las muestras se tomaron bajo las condiciones de la parcela, con el objetivo de que los sustratos presentaran las condiciones naturales reales de campo.

Dentro de cada una de las 39 parcelas de estudio (20 x 50 m = 1000 m<sup>2</sup>) de los sistemas agroforestales de cacao, se tomaron 2 muestras de sustrato (hojarasca del suelo), cada una conformada por 5 submuestras (marcos de 25 x 25 cm<sup>2</sup>) distribuidas en puntos específicos de la parcela, para un total de 10 submuestras por cada parcela.

En campo, cada muestra fue pesada y guardada en una bolsa de papel, que se trasladó hasta el laboratorio establecido en el Instituto Fray Domingo de Vico en Santa María de Cahabón. Las muestras de cada una de las parcelas fueron mezcladas y se tomó un volumen aproximado de 4,5 litros. Los sustratos recolectados se depositaron en cajas de plástico (33 x 20 x 12 cm), las cajas tienen en el centro de la parte superior (tapa) una abertura de 12 cm de diámetro cubierta con tela de agujero fino color negro para permitir la entrada de luz, humedad y aireación, también contiene un tubo plástico de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro dentro de la cual se adicionan 4 ml de solución de sacarosa al 20% como trampa de atracción y captura de insectos adultos (Figura 3).

### 7.3.3 Incubación de especímenes del género *Forcipomyia sp.* (Díptera, Ceratopogonidae).

Se realizó incubación de insectos y captura bajo condiciones controladas en cajas de emergencia mejoradas (Mavisoy & Cabezas, 2009). Se realizó este proceso durante un periodo de 30 días, cada trampa fue revisada diariamente, los insectos capturados fueron preservados en tubos de ensayo con alcohol al 70%, para posteriormente ser determinados taxonómicamente, se conservaron solamente los insectos identificados dentro del género *Forcipomyia sp.* (Díptera, Ceratopogonidae). Para la identificación de insectos adultos se utilizó la clave taxonómica de insectos de la familia Ceratopogonidae desarrollada por Borkent (INBio, 2008).



**Figura 3.** Cajas de emergencia para ceratopogónidos modificadas a partir del diseño de Mavisoy y Cabezas (2009).

#### **7.3.4 Variables de estudio**

- Tipo de paisaje (abierto o cercano a bosques secundarios).
- fragmentación del cacaotal (% porcentaje de cacaotales alrededor de la parcela)
- cobertura del dosel (% de cobertura)
- Altitud (msnm)
- Humedad del sustrato (% de humedad)
- Pendiente

### **7.3.5 Análisis estadístico**

El análisis estadístico del presente estudio se realizó de la siguiente manera:

Como primer paso se realizó una prueba de Shapiro – Wilk para cada una de las variables ambientales continuas para fundamentar el uso de pruebas paramétricas o no paramétricas al momento de buscar apoyo estadístico en los datos. Estas pruebas se realizaron utilizando el programa Infostat 2011 (Infostat, 2003).

Debido a la tendencia no normal de las variables ambientales continuas (Cuadro 3) se utilizó un análisis NMDS (Escalamiento Multivariado No Métrico), utilizando ordenamientos jerárquicos de distancias de Bray – Curtis calculadas sobre los datos de las variables ambientales. Este es uno de los pocos métodos de ordenación no restringida posible de utilizar. Este análisis permitió identificar los gradientes de cobertura del dosel, humedad y altitud.

Se realizó un análisis de regresión entre las variables ambientales (VA) continuas tomadas en cuenta y las abundancias utilizando modelos de regresión lineal generalizada (GLM), resultando la función vinculante logística y la función de varianza quasibinomial como las más adecuadas. Esto provee información sobre el factor de varianza de la variable de respuesta, es decir su dispersión con respecto a las VA y que permite evidenciar la robustez de los datos para representar un modelo predictivo (Kindt & Coe, 2005).

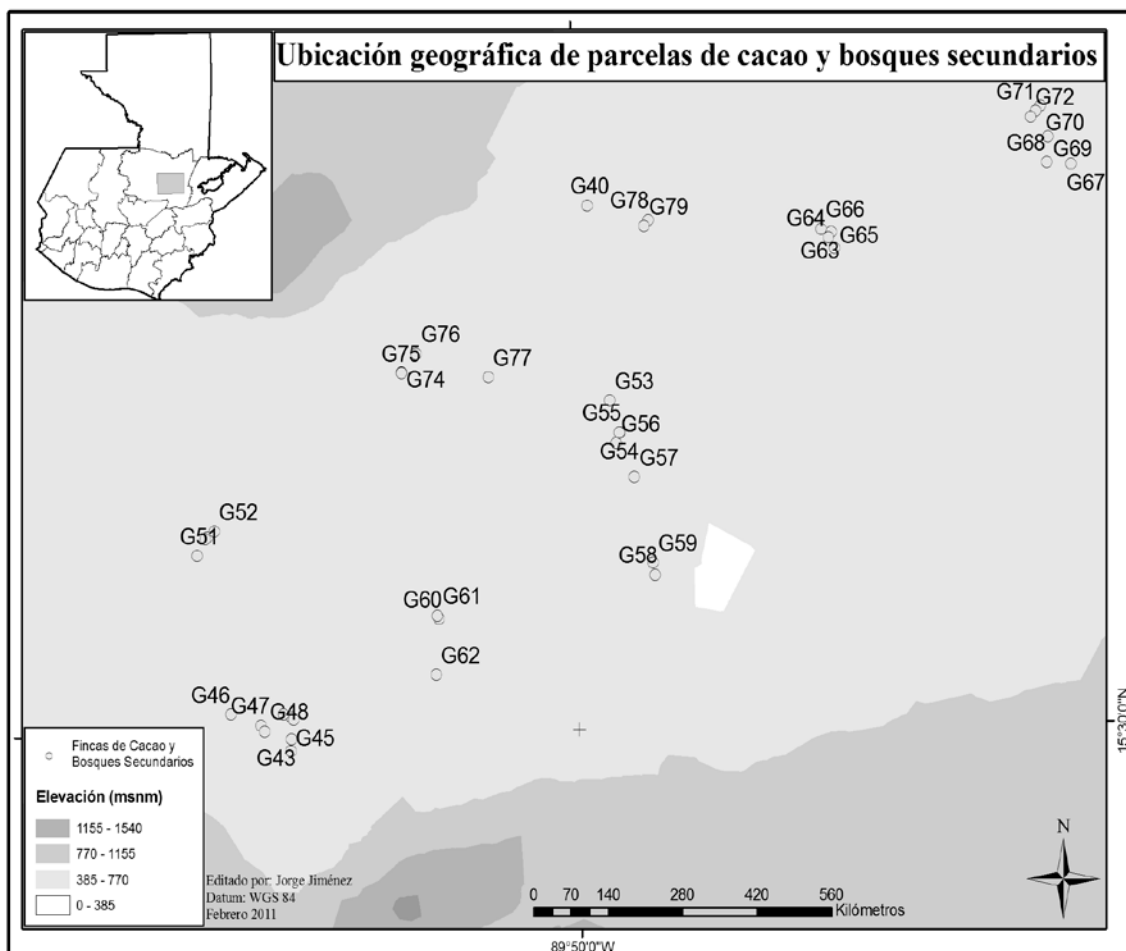
Así mismo, se realizó análisis de riqueza en el programa Estimates, tomando varios índices, sin embargo, para este estudio se utilizó Jackknife de primer orden y Chao 1.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Área de muestreo

La configuración del paisaje dentro del municipio es bastante homogéneo, puesto que se encuentra altamente degradado, con muy pocos remanentes de bosque secundario y mayormente ocupado por cultivos como el cardamomo, maíz, chile y cacao por lo que el modelo propuesto (Figura 1) no pudo cumplirse en su totalidad.

El mapa de la ubicación final de las 39 parcelas se muestra en la Figura 4, y las coordenadas de los puntos se muestran en el Anexo 1.



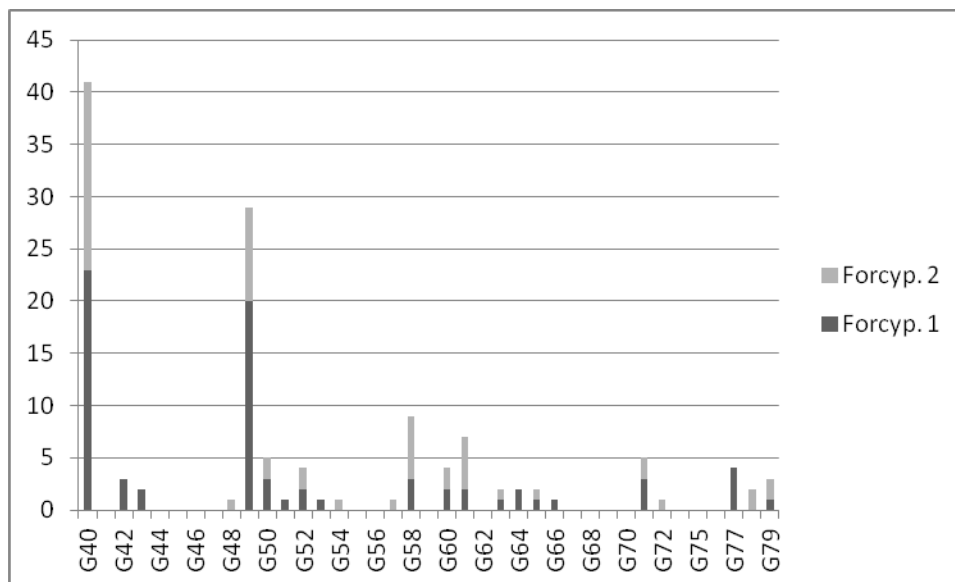
**Figura 4.** Mapa de la ubicación de las 39 parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

## 8.2 Abundancia del género *Forcipomyia*

Solamente se encontraron insectos del género *Forcipomyia* en 23 parcelas del total de 39 en la red de muestreo. Se identificaron dos morfoespecies (Figuras 6 y 7). La morfoespecie 1 fue encontrada con mayor frecuencia obteniendo 74 individuos en 18 parcelas, de la morfoespecie 2 fueron identificados 55 individuos (ver anexo 1) en 16 parcelas (Cuadro 1 y Figura 5) para un total de 129 individuos del género *Forcipomyia* (cuadro 1). Dichos insectos fueron identificados con ayuda de un microscopio y las claves taxonómicas de Borkent (2008).

**Cuadro 1.** Número de parcelas con presencia de ceratopogónidos del Género *Forcipomyia*

Morfoespecie	No. de parcelas	Porcentaje
<i>Forcipomyia 1</i>	7	30.44%
<i>Forcipomyia 2</i>	5	21.73%
<i>Forcipomyia 1 y 2</i>	11	47.83%
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>100.00%</b>



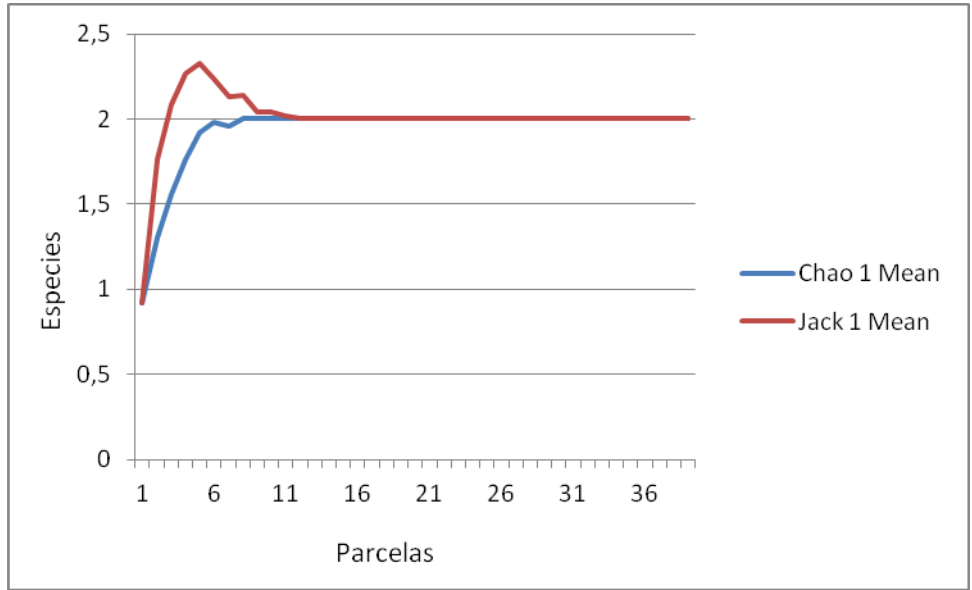
**Figura 5.** Gráfica que muestra la frecuencia de las dos morfoespecies de *Forcipomyia* dentro de la red de parcelas.

La abundancia de las dos morfoespecies de *Forcipomyia* en las 23 parcelas no es muy variable entre las dos morfoespecies encontradas, tal y como lo muestra los coeficientes de variación tanto en individuo de *Forcipomyia* por parcela como individuo por kilogramo de hojarasca húmeda. (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Medidas de resumen para la abundancia de polinizadores en las 23 parcelas de sistemas agroforestales de cacao con presencia de polinizadores del género *Forcipomyia*.

Variable	N	Media	$S^2$	Mín	Máx	Coefficiente de variación
<i>Forcip. 1</i> /parcela	18	2.35	40.9	1	23	2.72
<i>Forcip. 2</i> /parcela	16	2.20	20.0	1	18	2.03
<i>Forcip. 1</i> /kg hojarasca húmeda	18	3.93	20.7	1.00	43.8	2.61
<i>Forcip. 2</i> /kg hojarasca húmeda	16	3.67	81.0	1.00	34.2	2.45

La riqueza conocida es muy similar a la riqueza esperada según los estimadores Jackknife de primer orden y Chao 1. El muestreo fue efectivo, lo que se apoya gráficamente en la curva de acumulación de especies (Figura 8). El valor de la riqueza de especies se estabilizó al final de la curva con un total de dos especies.

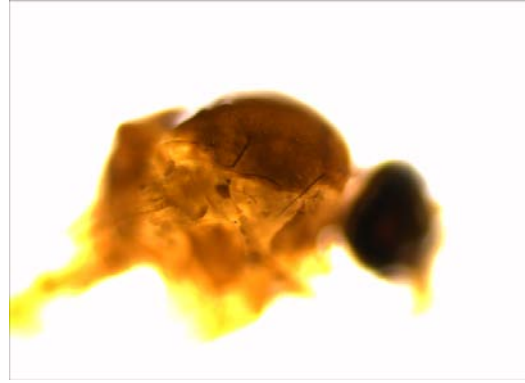


**Figura 8.** Curva de acumulación de especies de *Forcipomyia* sp. en la red de parcelas (n=39) de agrosistemas de cacao en Santa María de Cahabón. Se muestran valores promedio para cada parcela y los límites de confianza al 95 %, calculados por el método exacto.





A



B



C



D



E

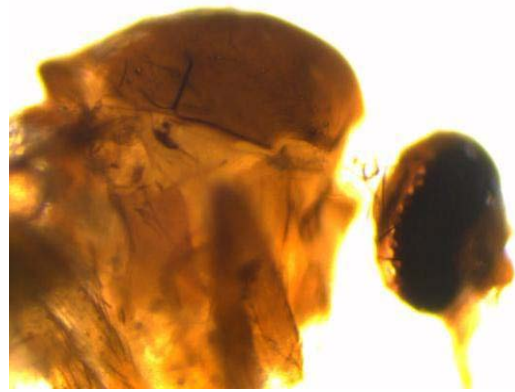


F

**Figura 6.** *Forcipomyia* morfoespecie 1, colectada en Santa María de Cahabón. A. cuerpo completo. B. paratergito. C. detalle de las alas. D. detalle de las antenas. E. detalle de la uña. F. aparato reproductor.



A



B



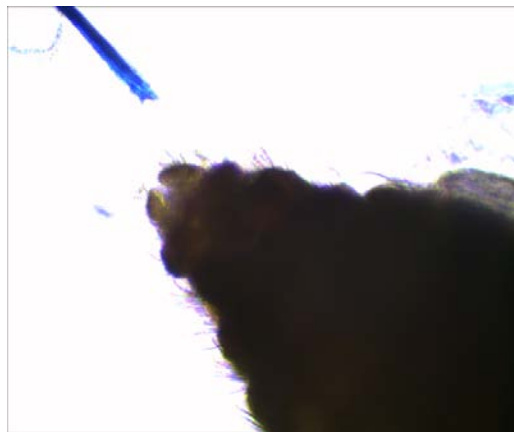
C



D



E



F

**Figura 7.** *Forcipomyia* morfoespecie 2, colectada en Santa María de Cahabón. A. cuerpo completo. B. Paratergito. C. detalle de las alas. D. detalle de las antenas. E. uña. F. aparato reproductor.

### 8.3 Exploración preliminar de las variables ambientales

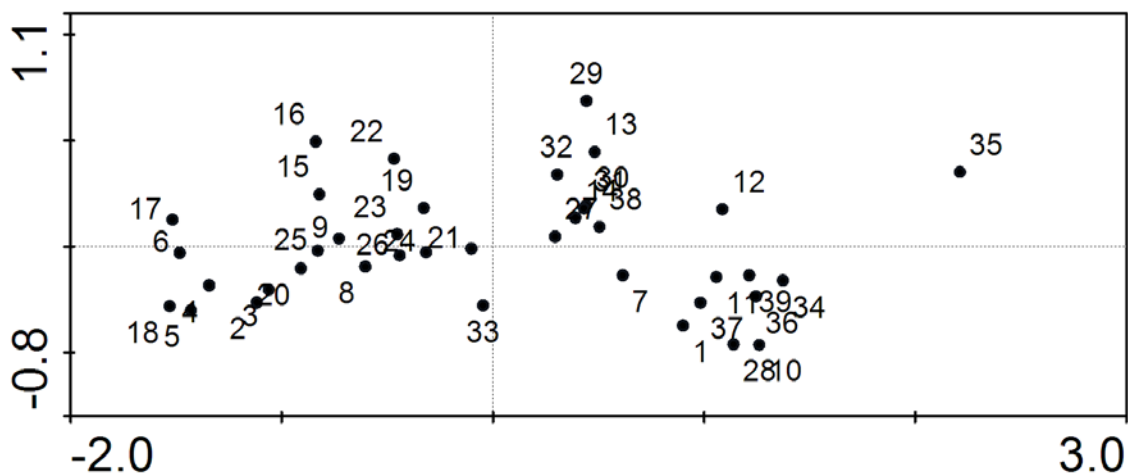
Las variables ambientales continuas tomadas en cuenta fueron analizadas mediante una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde únicamente la variable cobertura de dosel mostró una tendencia hacia la normalidad, con el valor de p mayor de 0.05 (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk de las variables ambientales en las 39 parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

<b>Variable</b>	<b>Estadístico (W)</b>	<b>Valor de p</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Altitud</b>	0.88	0.0020	No normal
<b>Humedad</b>	0.89	0.0020	No normal
<b>Cobertura de dosel</b>	0.93	0.0605	Normal

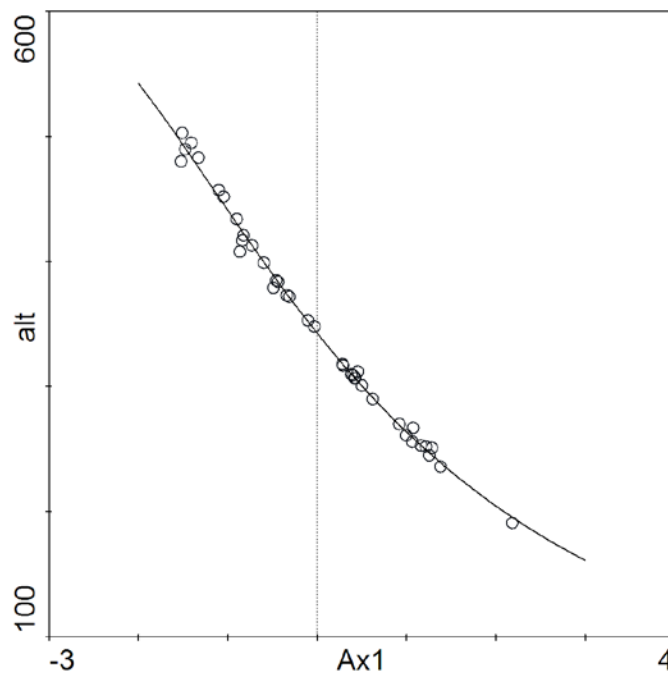
#### 8.4 Influencia de las variables ambientales en la abundancia del género *Forcipomyia* sp.

Tomando en cuenta que las variables ambientales evaluadas no correspondían a una tendencia normal se realizó el Escalamiento Multidimensional No Métrico para evaluar la relación de las variables ambientales con respecto a la abundancia de las dos morfoespecies de *Forcipomyia* (Figura 9).

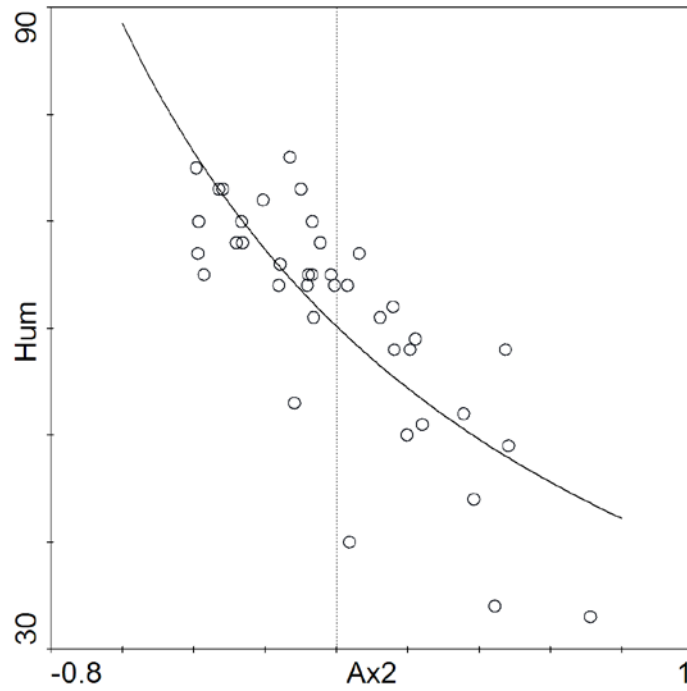


**Figura 9.** Escalamiento multidimensional no métrico a partir de una matriz de distancias de Bray-Curtis entre las parcelas según las variables ambientales (altitud, cobertura del dosel y humedad del sustrato,  $k = 2$  dimensiones,  $n = 39$ ). Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

La varianza observada en el primer eje de ordenación se relaciona significativamente con la altitud registrada en las parcelas ( $p < 0.005$ , Figura 10) y la del segundo eje de ordenación se correlaciona con la variable de humedad ( $p < 0.001$ , Figura 11). Un resumen de los valores de la relación se presenta en el Cuadro 4. Se probó la capacidad de predecir la abundancia de los insectos del género *Forcipomyia* por parte de las variables ambientales y los ejes de ordenación. Se encontraron relaciones importantes con el primer eje de ordenación (Figura 12) y el porcentaje de cobertura del dosel (Figura 14). No se encontró una relación importante respecto al segundo eje de ordenación (Figura 13). Un resumen de los valores de los modelos generalizados de regresión que muestran la relación entre la abundancia de *Forcipomyia*, los ejes de ordenación y la cobertura del dosel se muestra en el Cuadro 5.



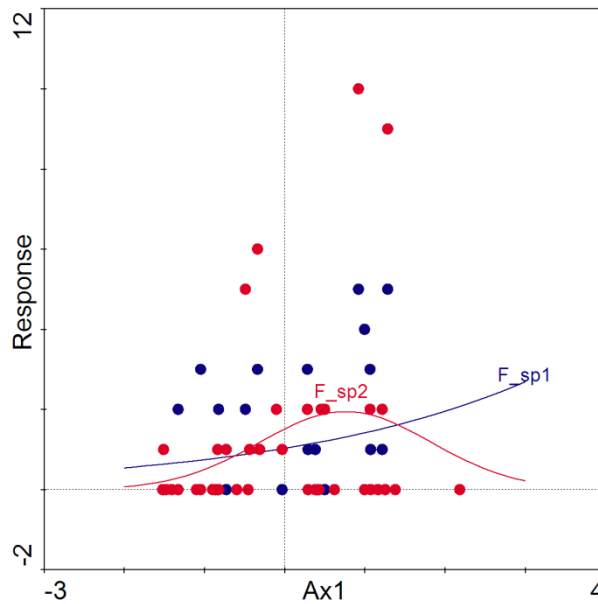
**Figura 10.** Gráfica de la relación entre el primer eje de ordenación y la variable de altitud, registrada en las parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón. Modelo Lineal Generalizado,  $p < 0.001$ , función vinculante inversa y de varianza gamma.



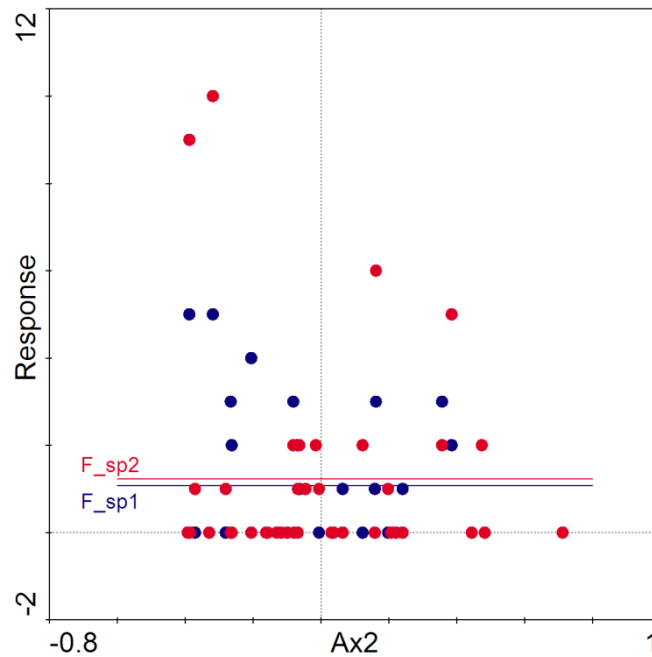
**Figura 11.** Gráfica de la relación entre el segundo eje de ordenación y la variable de humedad, registrada en las parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón. Modelo Lineal Generalizado,  $p < 0.001$ , función vinculante inversa y de varianza gamma.

**Cuadro 4.** Resumen de los Modelos Lineales Generalizados que muestran la relación entre las variables ambientales y los ejes de ordenación del NMDS.

Variable dependiente	Variable ambiental	Relación	Valor de p	AIC
Eje 1	Altitud	+	1.0 e-6	0.010
Eje 2	Humedad	+	1.0 e-6	0.068

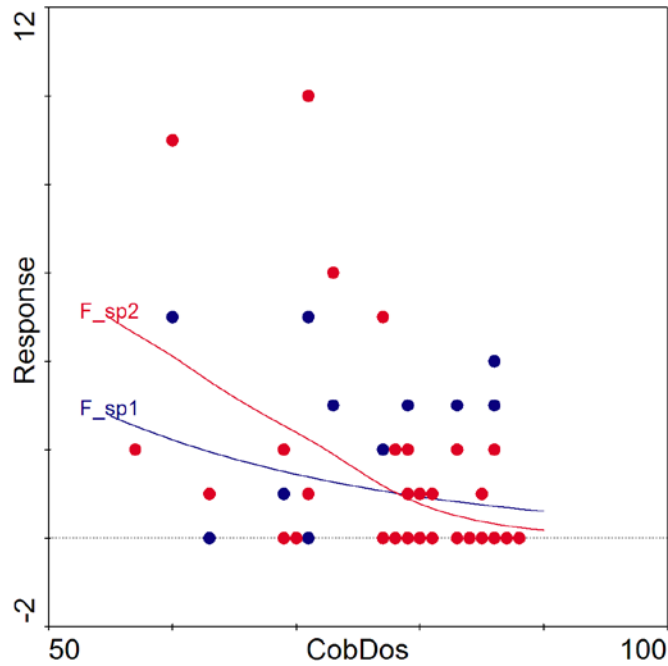


**Figura 12.** Gráfica de la relación entre la abundancia de insectos del género *Forcipomyia* ( $F.$  morfoespecie 1 =  $F_{sp1}$ ,  $F.$  morfoespecie 2 =  $F_{sp2}$ ) y el primer eje de ordenación del NMDS (Figura 6). Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón. Modelos Lineales Generalizados,  $p_{F_{sp1}}$  0.145,  $p_{F_{sp2}}$  0.142, función vinculante inversa y de varianza gamma.

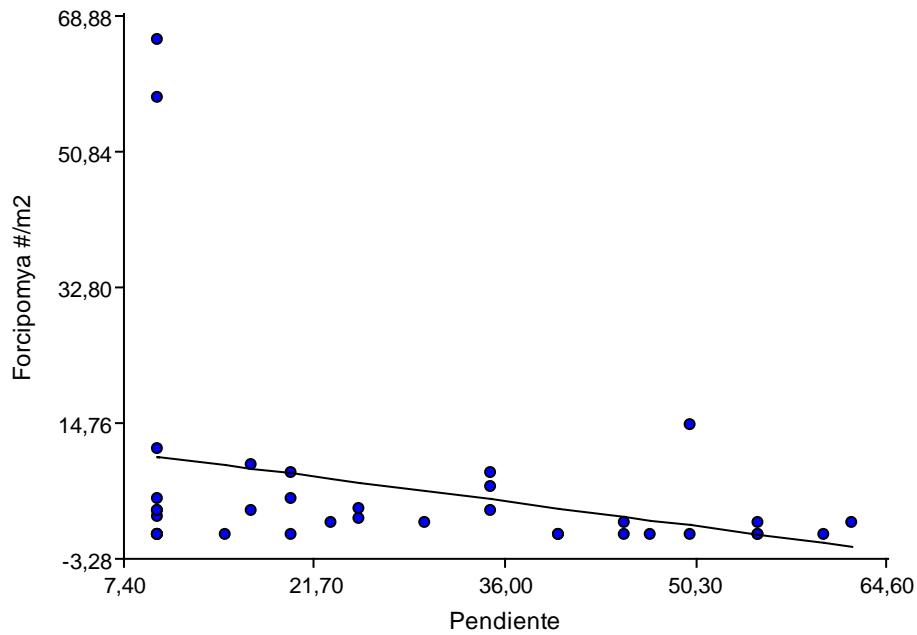


**Figura 13.** Gráfica de la relación entre la abundancia de insectos del género *Forcipomyia* (*F.* morfoespecie 1 = F\_sp1, *F.* morfoespecie 2 = F\_sp2) y el segundo eje de ordenación del NMDS (Figura 6). Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón. Modelos Lineales Generalizados,  $p_{F\_sp1} > 0.05$ ,  $p_{F\_sp2} > 0.05$ , función vinculante inversa y de varianza gamma.





**Figura 14.** Gráfica de la relación entre la abundancia de insectos del género *Forcipomyia* (*F.* morfoespecie 1 = F\_sp1, *F.* morfoespecie 2 = F\_sp2) y el porcentaje de cobertura del dosel. Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón. Modelos Generalizados Aditivos,  $p_{F\_sp1}$  0.10625,  $p_{F\_sp2}$  0.003834, función vinculante inversa y de varianza gamma.



**Figura 15.** Gráfica de la relación entre la abundancia de insectos del género *Forcipomyia* por m<sup>2</sup> y el porcentaje de pendiente dentro de la red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

La relación entre la abundancia de *Forcipomyia* y las variables categóricas del Macropaisaje y Micropaisaje fue explorada utilizando pruebas de Kruskal-Wallis (Cuadros 6 y 7). Para ambas especies no se encontró evidencia de una relación significativa con los diferentes tipos de paisaje, exceptuando la posible relación entre la abundancia de *Forcipomyia* 1 y el micropaisaje.

**Cuadro 5.** Resumen de los Modelos Lineales Generalizados utilizados para las variables altitud, humedad y cobertura de dosel, y la regresión lineal utilizada para la variable de pendiente que muestra la relación entre las variables ambientales y las abundancias de *Forcipomyia* sp.

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable ambiental</b>	<b>Relación</b>	<b>Valor de p</b>	<b>AIC</b>
<i>Forcipomyia</i> sp.1	Altitud	+	0.145	0.010
	Humedad	nula	nulo	0.068
	Cobertura de dosel	–	0.106	
<i>Forcipomyia</i> sp.2	Altitud	unimodal	0.142	
	Humedad	nula	nulo	
	Cobertura de dosel	–	< 0.01	
<i>Forcipomyia/m</i> <sup>2</sup>	Pendiente	–	< 0.01	

**Cuadro 6.** Prueba de la Varianza de Kruskal–Wallis para las variables de Macropaisaje (MacP) y Micropaisaje (MicP) para la morfosp. 1 de *Forcipomyia*, n = 39, Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

Variable	MacP	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
<b>Forcip. 1</b>	A	19	1.37	1.61	1.00	3.60	0.1166
<b>Forcip.1</b>	MS	16	1.00	1.41	0.00		
<b>Forcip.1</b>	B	4	0.00	0.00	0.00		

Variable	MicP	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
<b>Forcip. 1</b>	F	31	1.35	1.54	1.00	6.27	0.0237
<b>Forcip.1</b>	B	4	0.00	0.00	0.00		
<b>Forcip.1</b>	PC	4	0.00	0.00	0.00		

**Cuadro 7.** Prueba de la Varianza de Kruskal - Wallis para las variables de Macropaisaje (MacP) y Micropaisaje (MicP) para la morfosp. 2 de *Forcipomyia*. Red de parcelas para el muestreo de polinizadores en sistemas agroforestales de cacao, en Santa María de Cahabón.

Variable	MacP	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
<b>Forcip. 2</b>	A	19	1.84	3.06	1.00	1.99	0.2836
<b>Forcip.2</b>	MS	16	0.63	1.36	0.00		
<b>Forcip.2</b>	B	4	0.75	0.96	0.50		

Variable	MicP	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
<b>Forcip. 2</b>	F	31	1.39	2.62	0.00	0.03	0.9783
<b>Forcip.2</b>	B	4	0.75	0.96	0.50		
<b>Forcip.2</b>	PC	4	0.50	0.58	0.50		

## **9. DISCUSIÓN**

### **9.1 Unidades muestrales**

La selección de las parcelas fue realizada siguiendo el protocolo establecido por el PCC para los estudios en cacao. Dicha metodología pretende que la red de parcelas sea lo más representativa y que incluya los distintos gradientes de paisaje y fragmentación; sin embargo, Santa María de Cahabón se encuentra bastante degradado en su entorno, en comparación con regiones cacaoteras de Costa Rica o Panamá.

El trabajo no fue dividido en tratamientos o estratos a priori para su análisis, como lo hicieron Mavisoy y Cabezas (2009), esto se decidió así por las características del área señaladas anteriormente. Aunque algunas de las parcelas no tuvieron la distancia propuesta por el modelo de la red de parcelas, se asume que la amplia o reducida distancia entre cada unidad muestral dentro de una comunidad o aldea muestreada, por lo menos por la escala de este trabajo, no afecta la presencia de los especímenes de *Forcipomyia*. El radio de acción de estos insectos es cercano a los 500 m, alcanzando un rango de vuelo de 15 km en ciertas condiciones de vientos favorables (Grilli & Bruno, 2006).

### **9.2 Variables ambientales**

En esta investigación se planteó la medición de variables continuas, y se asumió que eran normalmente distribuidas, por lo que la distribución uniforme de las unidades muestrales correspondería a un muestreo en donde la distribución de los datos no necesitaría ser dividida en estratos (Jiménez, 2009). El análisis de ordenación de estas variables continuas permitiría interpretar los diferentes gradientes en que la abundancia de *Forcipomyia* se expresaría como respuesta a éstas. Sin embargo como se muestra en el Cuadro 1 sobre la prueba de normalidad de Shapiro Wilk las variables no tienden a la normalidad.

Las categorías utilizadas para que la muestra tuviera la mayor variabilidad posible (Figura 5) trataron de hacer la red de parcelas representativa. Estas categorías también fueron utilizadas en el análisis de factores, buscando evidencia de su efecto en la abundancia de insectos, pero no su efecto en la ordenación de las parcelas.

El análisis de ordenación se realizó con un escalamiento multidimensional no métrico (NMDS). El propósito del NMDS es transformar los juicios de similitud o preferencia expresados en la varianza (Van Deun & Delbeke, 2011) de las variables ambientales, desde una matriz de distancias entre parcelas, que en este caso fue generada con índices de Bray – Curtis. Como puede verse en la Figura 9 las parcelas se ordenaron de acuerdo a los gradientes encontrados por el análisis, en este caso el gradiente altitudinal es la variable que más se asemeja hacia el eje 1 y el gradiente de humedad sobre el eje 2 (Figuras 10 y 11). Sin embargo, para la variable cobertura del dosel, no fue detectado ningún gradiente significativo (Figura 9). El NMDS puede detectar una determinada estructura de datos subyacente que depende de un modo desconocido en el coeficiente de disimilitud elegido y en la ordenación inicial suministrada (Jongman, Ter Braak, & Van Togoren, 1995).

### **9.3 Abundancia y distribución de género *Forcipomyia***

Se reporta la presencia de dos morfoespecies del género *Forcipomyia* en la red de 39 parcelas de agrosistemas de cacao. La riqueza de especies no es comparable a la encontrada en otros estudios en Costa Rica como el de Hernández en 1966 (citado por Soria, Wirth y Chapman, 1980) en los cuales se han llegado a reportar hasta 7 especies en agrosistemas de cacao. Sin embargo, la riqueza de especies esperadas de acuerdo al muestreo fue mejor calculada por los estimadores Jackknife de primer orden y Chao 1, los cuales indican que el esfuerzo de muestreo para las 39 parcelas de agrosistemas de cacao fue suficiente (Figura 8).

Se encontró evidencia (GLM, Figura 12) de la relación directa entre *Forcipomyia* morfospc. 1 y el primer eje de ordenación del NMDS (Figura 9). Esto constituye evidencia indirecta de la relación entre *Forcipomyia* morfoespecie 1 y la altitud. Con respecto a la morfoespecie 2, se puede observar una relación unimodal respecto al primer eje de ordenación, que constituye indirectamente una relación con la altitud. La mayor cantidad de abundancias se encontró al centro del gradiente, lo que sugiere que se encontró el punto óptimo para la mayor abundancia de *Forcipomyia* morfoespecie 2 en la parte media del gradiente altitudinal. Al parecer no existen estudios que evalúen la distribución altitudinal de polinizadores del cacao, posiblemente porque el rango altitudinal de las plantaciones de cacao oscila entre unos pocos

metros y esto no afecte directamente la abundancia de los polinizadores, sino que están más relacionados a variables de microhabitat (Young, 1983).

En cuanto a la humedad, aunque existe un gradiente, no se encontró evidencia directa de la correlación de las abundancias con respecto a estas especies. Sin embargo, en otros estudios (Kauffmann, 1975; Winder, 1976; Azhar & Wahi, 1984) se reporta la importancia de la humedad del sustrato para su descomposición. El ambiente húmedo propicia un ambiente rico en bacterias y hongos que sirven de alimento para las larvas de *Forcipomyia*, que surgen luego de la oviposición. Para esto sería prudente comparar de acuerdo al tipo de sustrato para evidenciar que las características de humedad en cada sustrato pueden variar de acuerdo a las condiciones de sombra que genera cada especie como lo indican Mavisoy y Cabezas (2009).

No se encontró una relación entre el gradiente del segundo eje de ordenación (humedad) y la abundancia de las especies, posiblemente porque la variación no era perceptible. Se encontró una relación lineal inversa por parte de las dos morfoespecies de *Forcipomyia* respecto a la cobertura del dosel, que aunque débil estadísticamente (GAM,  $p_{F\_sp1} = 0.106$ ,  $p_{F\_sp2} = 0.004$ ), concuerda con lo reportado por Young (1982). En muchas de las granjas cacaoteras estudiadas, aunque la cobertura del dosel no era espesa, la vegetación si era diversa, lo que crea mayor heterogeneidad en el hábitat de *Forcipomyia* en donde el aumento de la disponibilidad de los sitios de reproducción puede permitir que algunas especies de polinizadores aumenten poblacionalmente. Además de lo anterior, se ha encontrado que cuando el cacao tiene poda de copas al igual que los árboles de dosel, la incidencia de luz permite la aceleración del metabolismo del árbol de cacao, provocando un aumento en la floración y por lo tanto también en las abundancias de polinizadores, esto en combinación con la variedad de árboles de dosel (Young, 1979). Ortiz y Somarriba en el 2005 reportaron la existencia de algunas especies de árboles que tienen la reputación de conservar la humedad del suelo, variable que en este estudio no se pudo encontrar evidencia directa de su relación con *Forcipomyia*. Otros estudios reportan la humedad como un factor importante para el ambiente de descomposición de sustrato por bacterias y hongos los cuales sirven de alimento para las larvas de *Forcipomyia*.

Young (1983) y Soria & Abreu (1976) encontraron un aumento en la población de *Forcipomyia* en algunas de las parcelas muestreadas con mayor incidencia de luz, durante la

época lluviosa. En este caso, la elaboración de parcelas y el muestreo de polinizadores, se llevó a cabo durante los meses de diciembre de 2009 y enero de 2010, meses reportados con alta precipitación por el INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) para el municipio de Santa María de Cahabón, por lo que esto pudo influir en las abundancias de los insectos, tomando en cuenta que su ciclo de vida es en promedio de 30 días. En el caso de la variable pendiente (no fue incluida en el NMDS, por datos incompletos, pero fue evaluada con los datos existentes), se realizó una regresión lineal que mostró una relación inversa por el total de individuos tanto de morfoesp. 1 como de la morfoesp. 2 ( $p = 0.09$ ), la cual indica que a mayor porcentaje de pendiente, menor abundancia de *Forcipomyia*. La anterior afirmación tiene sentido tomando en cuenta que a mayor porcentaje de pendiente, la hojarasca y material en descomposición que sirve como material dónde se lleva a cabo el ciclo de vida de *Forcipomyia*, al menos en sus estadíos de huevo, larva y pupa, tiende al efecto de la gravedad y muchas veces podría ser lavado por la escorrentía superficial en la época lluviosa.

Al evaluar las variables de macropaisaje y micropaisaje mediante el análisis de varianza de Kruskal – Wallis, no se encontró evidencia directa de que afecte la abundancia o la distribución de alguna de las morfoespecies encontradas, tal y como lo muestran los Cuadros 6 y 7, únicamente con la morfoesp.1 puede observarse una posible relación en cuanto al micropaisaje. Posiblemente estas variables se encuentran a una escala muy grande para ser percibida por los mosquitos polinizadores, o, la configuración del paisaje posiblemente no varíe tanto como para afectar la distribución de *Forcipomyia*. Existen muchas explicaciones conceptuales para la relación entre la abundancia de ciertas especies de insectos y el área y configuración del paisaje. El área requerida por las poblaciones de insectos puede ser variable y depende generalmente de las especies; esta variabilidad puede ser atribuida a parámetros de la propia dinámica de la población, entre algunas de las posibles causas. En hábitats fragmentados, la conectividad es un factor crítico que afecta el patrón de ocupación de los parches y la dinámica de los insectos (Grilli & Bruno, 2006) por lo que la proximidad entre las parcelas y la conectividad que ésta implica, podría tener un efecto directo en la abundancia de *Forcipomyia*.



## 10. CONCLUSIONES

Se encontraron al menos dos morfoespecies del género *Forcipomyia* para la región cacaotera de Santa María de Cahabón.

Aunque la presencia de especies de *Forcipomyia* es menor de acuerdo con lo reportado en estudios anteriores en Costa Rica y Panamá, la metodología de muestreo fue exitosa en el sentido que se colectó dentro de las unidades muestrales, el número estimado de las especies totales (Jackknife de primer orden y Chao 1) para los agrosistemas de cacao en Santa María de Cahabón.

La altitud aparentemente no afecta en la distribución y abundancia de *Forcipomyia*, esto podría deberse al pequeño rango altitudinal de las plantaciones de cacao en Santa María de Cahabón y a que este tipo de polinizadores se encuentran más relacionados a variables de microhabitat.

Aunque la humedad es un factor determinante para los sitios de anidamiento *Forcipomyia* según muchos autores, en este estudio no se encontró evidencia.

La cobertura de dosel afecta inversamente la distribución y abundancia de *Forcipomyia*, por lo que el manejo de podas dentro de las poblaciones y la diversidad de árboles de dosel puede favorecer a la dinámica poblacional de este género.

Los porcentajes altos de pendiente afectan directamente la abundancia de *Forcipomyia*, porque la gravedad influye en la presencia de hojarasca y material en descomposición que sirven como sitios para llevar a cabo los ciclos de vida de este género.

El manejo adecuado por parte de los agricultores de cacao, de la cobertura de dosel y de la hojarasca presente en los agrosistemas de cacao, contribuyen a la abundancia del género *Forcipomyia* sp.

## 11. RECOMENDACIONES

Aunque fue encontrada la relación de algunas variables ambientales, se aconseja aplicar esta metodología con un mayor esfuerzo y en las dos épocas del año para investigar más a fondo la influencia de las variables ambientales en la abundancia y distribución de *Forcipomyia* sp.

Se recomienda el estudio de variables ambientales a escala fina (temperatura, humedad relativa) que afectan más directamente la distribución y abundancia de los insectos del género *Forcipomyia*.

Aunque fueron encontrados insectos del género *Forcipomyia* en el 60% de la red de 39 parcelas, se recomienda intensificar el muestreo para lograr identificar otras especies y géneros de ceratopogónidos que pueden contribuir a la polinización del cacao.

Aunque no existe evidencia directa de la influencia de variables de Macropaisaje y Micropaisaje, debería analizarse la dinámica poblacional de *Forcipomyia* en hábitats fragmentados para identificar si se ven directamente afectados con la discontinuidad de los agrosistemas.

Para conservar el hábitat de este género de polinizadores del cacao, se recomienda conservar tanto los árboles de sombra como la hojarasca del suelo para que su ciclo de vida no se vea afectado.

Se recomienda estudiar los efectos de borde y la matriz de usos de la tierra relacionados a la a los agrosistemas de cacao.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Avelino, J., & Deheuvels, O. (2008). Caracterización de diferentes dominios agroecológicos para enfermedades, productividad y biodiversidad. *Proyecto Cacao de Centroamérica (PCC), CATIE* .
- Azhar, I., & Wahi, M. (1984). Pollination of Cocoa in Malaysia: Identification of taxonomic composition and breeding sites, ecology and pollinating activities and seasonal abundance. *The Incorporated Society of Planters. Cocoa and Coconut Division* . , 77-91.
- Barrios, M. (2009). Restauración de selvas lluviosas fragmentadas en Alta Verapaz, mediante el uso de cacao como cultivo perenne alternativo. Guatemala, Guatemala, Guatemala: Centro de Datos para la Conservación, Centro de Estudios Conservacionistas (CDC/CECON), Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Bravo, J., Somarriba, E., & Arteaga, G. (2010). *Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en sistemas agroforestales*. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño.
- CONABIO. (2011). Recuperado el 8 de junio de 2011, de CONABIO.
- CONABIO. (2009). La crisis de los polinizadores. *Biodiversitas* (85), 1-5.
- CSPNA. (2007). Status of pollinators in North America. *Committee on the status of pollinators in North America, National Research Council* (pág. 326). Washington: The National Academies Press.
- De La Cruz, J. &. (1973). Estudio de Fluctuaciones de polinización del cacao por las mosquitas Forcipomyia spp. (Díptera, Ceratopogonidae), en Palmira, Valle, Colombia. *Acta Agronómica, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias - Palmira, Colombia. Vol. XXIII. No. , 1-16 pp.*
- De La Cruz, J., & Soria, S. (1973). Estudio de fluctuaciones de polinización del cacao por las mosquitas Forcipomyia spp. (Diptera, Ceratopogonidae), en Palmira, Valle, Colombia. *Acta Agronómica (Colombia)* , 1-17.
- Dubois, A. (2007). Producción agrícola y conservación de la biodiversidad: ¿dos actividades compatibles? El caso de los sistemas agroforestales con cacao en Talamanca, Costa Rica. *Tesis M. Sc. Universidad de Lyon, Francia* . , 71.
- FAO. (2010). *FAO*. Recuperado el 5 de diciembre de 2010, de <http://ftp.fao.org/docrep/010/i0112e/i0112e06.pdf>
- Glendinning, D. R. (1972). Natural Pollination on Cocoa. *New Phytologist* , 71 (4), 719-729.
- Goitia, W., Bosque, C., & Jaffe, K. (1992). Interacción hormiga-polinizador en Cacao. *Turrialba* , 178-186.
- Grilli, M. P., & Bruno, M. (2006). Aplicación de un SIG para el análisis y modelación de poblaciones de una plaga agrícola. *122 (Issue 2)*, 133-1443.

- Guevara, F. (2007). Estudio de los insectos polinizadores del cacao (*Theobroma cacao* L.) en los cultivos localizados en la ruta del cacao de la zona del suroccidente de Guatemala". *Proyecto FODECYT 60-2007* .
- Hernández, J. (1965). *Insect pollination of cacao (Theobroma cacao L.) in Costa Rica*. . Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison.
- Ibrahim, G. (1987). Effects of insect pollinators on fruit set cocoa flowers. *COPAL* , 303 - 306 PP.
- Infostat. (2003). *Infostat versión 1.5. Manual del usuario* (1a. Edición ed.). (U. N. FCA, Ed.) Argentina: Editorial Brujas.
- Jiménez, J. B. (2009). *Diversidad de helechos monilophyta en las áreas protegidas del Corredor del Bosque Nuboso, Purulhá, Alta Verapaz*. Guatemala: Tesis de Grado. Universidad de San Carlos.
- Jongman, R., Ter Braak, C., & Van Togoren, O. (1995). *Data analysis in community and landscape ecology*. (2 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kauffmann, T. (1975). Ecology and behavior of Cocoa pollinating Ceratopogonidae in Ghana. *Environmental Entomology* . , 347-351.
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis: A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. Nairobi: World Agroforestry Centre.
- Marion, P. I., & Spinelli, G. R. (2008). Biting midges of the Forcipomyia (*Forcipomyia*) argenteola group in southern South America, with descriptions of a new species and a key to the Neotropical species (Diptera: Ceratopogonidae). *Tropical Biology* , 56 (2), 789-794.
- Mavisoy, H., & Cabezas, R. (2009). Evaluación de la abundancia de Ceratopogónidos (Díptera) polinizadores del cacao (*Theobroma cacao*) en la hojarasca de 7 árboles de sombra, Talamanca, Costa Rica. *Tesis Pregrado, Universidad de Nariño* , 46.
- Miranda, F. (1952). *La vegetación de Chiapas* (Vol. Primera parte). Tuxtla Gutiérrez: Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas.
- Narváez, Z., & Marín, C. (1996). Abundancia de Ceratopogonidos (Diptera) en una planta de cacao, *Theobroma cacao*(Sterculiaceae) en Chuao, Edo. Aragua, Venezuela.
- SEGEPLAN. (2003). Estrategia de reducción de la pobreza, Alta Verapaz. *Secretaría General de la Nación* , 71.
- Soria, S. D. (1970). Studies on *Forcipomyia* spp. midges (Diptera: Ceratopogonidae) related to pollination of *Theobroma cacao* L. *Ph.D. Thesis. University of Wisconsin* , 129 pp.
- Soria, S. D., & Wirth, W. W. (1975). Ciclos de vida dos polinizadores do cacauero *Forcipomyia* spp.(Diptera: Ceratopogonidae) e algumas anotacoes sobre o comportamento das larvas no laboratorio. *Theobroma* , 5 (4), 3-18.

- Soria, S. (1973). Locais de coleta e distribuicao de Forcipomyia (Díptera, Ceratopogonidae) relacionadas com a floracao e frutificacao do cacauero na Bahía, Brasil. *Revista Theobroma, Itabuna, Brasil.* , 41-49.
- Soria, S. (1977). Polinizacao natural do cacauero: 3 Criacao de mosquinhas Focipomyia spp. (Díptera, Ceratopogonidae) em laboratorio, determinacao de potenciais biótico reproductivo. . *CEPEC* , 108.
- Soria, S. (1970). Studies on Forcipomyia spp. midges (Diptera, Ceratopogonidae) related to the pollination of Theobroma cacao L. *Doctoral dissertation, University of Wisconsin, Madison* .
- Soria, S. (1976). Tabelas etarias dos polinizadores do cacauero Forcipomyia spp. (Diptera, Ceratopogonidae) em condicoes de laboratorio. *Revista Theobroma* , 6, 5-13.
- Soria, S., Chapman, R., & Knoke, J. (1980). The floral biology of cacao. 1. Attractants and food substances for adult midges. *Revista Theobroma* , 11, 47-52.
- Standley, P. C., & Steyermark, J. A. (1949). *Flora of Guatemala* (Vol. 24). (F. Botany, Ed.) Chicago, Estados Unidos: Chicago Natural History Museum.
- Van Deun, K., & Delbeke, L. (s.f.). *Open and distance learning*. Recuperado el 19 de enero de 2012, de <http://www.mathpsyc.uni-bonn.de/doc/delbeke/delbeke.htm>
- Winder, J. A. (1976). Cocoa flower diptera: their identity, pollinating activity and breeding sites. *PANS* .
- Young, A. (1986). Habitat differences in Cocoa tree flowering, fruit set, and pollinator availability in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* , 163-186.
- Young, A. (1983). Seasonal differences in abundance and distribution of cocoa-pollinating midges in relation to flowering and fruit set between shaded and sunny habitats of The La Lola cocoa farm in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology* , 801-831.

## 13. ANEXOS

### 13.1. Anexo 1. Coordenadas geográficas finales de las unidades muestrales en Santa María de Cahabón. Datum WGS 84.

No.	Cod. Parcela	Latitud (N)	Longitud (W)
1	G40	15.36979	89.49779
2	G41	15.30225	89.54380
3	G42	15.30191	89.54346
4	G43	15.29930	89.54383
5	G44	15.30267	89.54501
6	G45	15.29772	89.54398
7	G46	15.30274	89.55300
8	G47	15.30120	89.54843
9	G48	15.30041	89.54788
10	G49	15.32640	89.55627
11	G50	15.32612	89.55660
12	G51	15.32393	89.55784
13	G52	15.32711	89.55521
14	G53	15.34376	89.49476
15	G54	15.33948	89.49331
16	G55	15.33952	89.49340
17	G56	15.33803	89.49386
18	G56	15.33350	89.49119
19	G58	15.32044	89.48821
20	G59	15.32208	89.48851
21	G60	15.31501	89.52119
22	G61	15.31546	89.52142
23	G62	15.30758	89.52172
24	G63	15.36572	89.46073
25	G64	15.36504	89.46113
26	G65	15.36357	89.46025
27	G66	15.36617	89.46230
28	G67	15.37428	89.42409
29	G68	15.37459	89.42779
30	G69	15.37800	89.42757
31	G70	15.38216	89.42860
32	G71	15.38142	89.42935
33	G72	15.38068	89.43015
34	G73	15.34794	89.52642
35	G74	15.34786	89.52642
36	G75	15.35040	89.52414

37	G76	15.34710	89.51321
38	G77	15.36774	89.48854
39	G78	15.36695	89.48917

**13.2. Anexo 2.** Cuadro que indica las abundancias por cada una de las morfoespecies de *Forcipomyia* encontradas en la red de parcelas (n=39) de sistemas agroforestales en Santa María de Cahabón.

<b>Código Parcela</b>	<b>Forcyp. 1</b>	<b>Forcyp. 2</b>
G40	23	18
G41	0	0
G42	3	0
G43	2	0
G44	0	0
G45	0	0
G46	0	0
G47	0	0
G48	0	1
G49	20	9
G50	3	2
G51	1	0
G52	2	2
G53	1	0
G54	0	1
G55	0	0
G56	0	0
G57	0	1
G58	3	6
G59	0	0
G60	2	2
G61	2	5
G62	0	0
G63	1	1
G64	2	0
G65	1	1
G66	1	0
G67	0	0
G68	0	0
G69	0	0
G70	0	0

<b>G71</b>	3	2
<b>G72</b>	0	1
<b>G74</b>	0	0
<b>G75</b>	0	0
<b>G76</b>	0	0
<b>G77</b>	4	0
<b>G78</b>	0	2
<b>G79</b>	1	2